

# АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЛАТИНОВЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ВЫТЯГИВАНИЯ СТЕКЛОВОЛОКНА

## THE STRAIN-STRESS ANALYSIS OF SHEET PUNCHING IN PRODUCTION OF PLATINUM DEVICES FOR THE FIBER GLASS PULLING

Логинов Ю.Н., Фомин А.А.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, unl@mtf.ustu.ru

In the presented work it is analyzed stress-strain condition of sheet punching in production of platinum devices for a fiber glass pulling, including areas of coverage of the increased tension and deformations are revealed.

Использование платины в промышленности обусловлено её уникальными свойствами: сопротивлению высокотемпературной коррозии и окислению в контакте с окисными материалами при высоких температурах. Одно из важных направлений в промышленности благородных металлов является применение сплавов платины в производстве аппаратуры для изготовления стекловолокна и базальтового волокна. Стеклоплавильный аппарат представляет собой емкость для размещения расплава стекла или базальта, выполненную из тугоплавкого листового материала – платинородиевого сплава. В нижней части аппарата расположено днище, а в нем

выполнены отверстия со сложным профилем образующей (рис.1).

Цельноштампованные фильерные днища обладают рядом преимуществ, в том числе создается возможность более плотной упаковки фильер на фильерном поле. Вместе с тем, плотная упаковка фильер создает ряд технологических проблем, одна из которых – поддержание симметричного исполнения каждой фильеры с обеспечением необходимой размерной точности. Необходимая форма отверстия обеспечивается при этом направленным пластическим течением металла.



Рис.1. Днище стеклоплавильного аппарата с фильерными питателями

В данной работе будет выполнен анализ напряженно-деформированного состояния на первой стадии листовой штамповки: получения выступов на листовой заготовке. Схема данного технологического процесса в общем виде приведена на рис. 2.

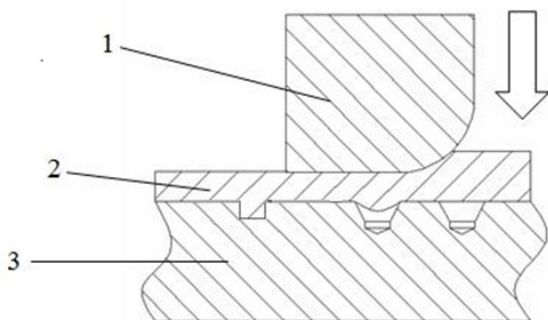


Рис.2. Схема обжатия полосы: 1 – плита, 2 – листовая заготовка, 3 – штамп

Металл заготовки под действием плиты утоняется над плоской поверхностью матрицы и концентрируется в ее отверстиях. Степень заполнения отверстия определяется усилием прессы (максимальное усилие 1000 кН) и конфигурацией бойка. После каждого хода плиты матрица с

заготовкой продвигается относительно плиты в направлении обратном направлению течению металла. Этот процесс контролируется компьютером и осуществляется автоматически. Шаг матрицы равен 2,5 мм. Так пошагово идет обработка всей полосы, процесс длится до окончания полосы. Полученный полуфабрикат передается на вторую операцию, которая в этой работе не рассматривается.

Анализ напряженного и деформированного состояния будет произведен с помощью программного комплекса Abaqus, предназначенного для решения задач в области конечно-элементных прочностных расчетов. Семейство продуктов Abaqus разрабатывается и поддерживается компанией Abaqus Inc. (USA). Компания поддерживает распространение университетской версии программного продукта с ограничением до 1000 штук количества конечных элементов[1].

Смоделировано течение металла вблизи одного отверстия матрицы. Первым этапом моделирования являлось создание деталей. В данном случае их три: штамп с отверстием (матрица), заготовка и плита. Для создания каждой детали заданы следующие параметры: моделируемое пространство – осесимметричное,

тип материала деталей – деформируемый, отображение деталей – плоское. Контур деталей задается координатным способом. Сборка инструмента и заготовки показана на рис. 3.

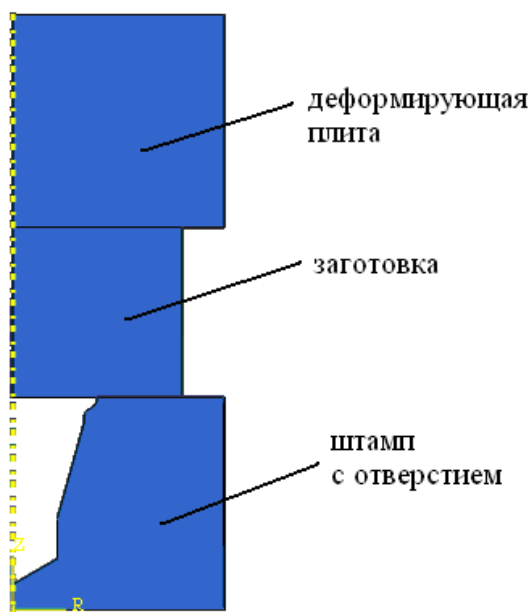


Рис. 3. Сборка инструмента и заготовки в комплексе *Abaqus*

Следующим этапом являлось задание свойств материалов, участвующих в моделировании: сталь инструментальная, штамповая и платина. Для стали указана плотность, равная 7700 кг/м<sup>3</sup>, и заданы упругие свойства с помощью модуля Юнга и коэффициента Пуассона, которые равны 200000 МПа и 0,3 соответственно. Плотность платины равна 21450 кг/м<sup>3</sup>, модуль Юнга = 170000 МПа, коэффициент Пуассона = 0,37. Пластические свойства платины заданы степенной зависимостью Людвика, которая устанавливает связь между сопротивлением деформации и степенью деформации в виде

$$\sigma_s = a + b \cdot \varepsilon^c, \text{ где } \sigma_s - \text{сопротивление}$$

деформации,  $\varepsilon$  - степень деформации,  $a$  – предел упругости,  $b$  – коэффициент упрочнения,  $c$  – показатель упрочнения. Для платины эти величины принимают следующие значения:  $a = 100$  МПа,  $b = 148$  МПа,  $c = 0,573$ . Для идентификации свойств использованы данные работ [2,3]. Свойства металлов приняты изотропными.

На созданную модель наложены следующие граничные условия. Первое условие - жесткое закрепление штампа по нижней границе его контура, так как штамп неподвижен в процессе обжима заготовки. Следующее условие задано для верхней границы плиты, она перемещается вертикально вниз. Граничные условия для инструмента заданы не по всему контуру, что позволяет в ходе решения задачи определить напряженно-деформированное состояние не только заготовки, но и инструмента. На правой границе очага реализуется свободное течение металла,

действующее внешнее давление равно нулю. На границе контакта заготовки с матрицей и плитой реализуется скольжение. Условия трения описываются законом Кулона. Коэффициент трения по Кулону принят равным 0,1. На рис. 3 граничные условия показаны значками закрепления и стрелками, которые приняты в сопроамте.

Следующим этапом в моделировании являлось создание сетки и ассоциации свойств конечных элементов с заданными свойствами. Для плиты и матрицы аппроксимирующий размер одного элемента принят 0,5 мм, тип элемента – четырехугольный. Для заготовки с целью повышения точности решения задачи принят размер элемента 0,2 мм, тип ячейки – треугольный. Таким образом, деформирующая плита разбита на 100 элементов, матрица на 96 элементов, заготовка из платины на 800 элементов. В сумме 996 элементов, что удовлетворяет ограничению университетской версии. На рис. 4 показано разбиение очага деформации на конечные элементы в процессе формирования выступов.

После завершения формирования исходных условий выполнены расчеты с получением схем распределения расчетных параметров по очагу деформации.

На рис. 4 представлено распределение значений эквивалентной степени деформации по очагу деформации. Полученные данные позволяют проанализировать деформированное состояние металла.

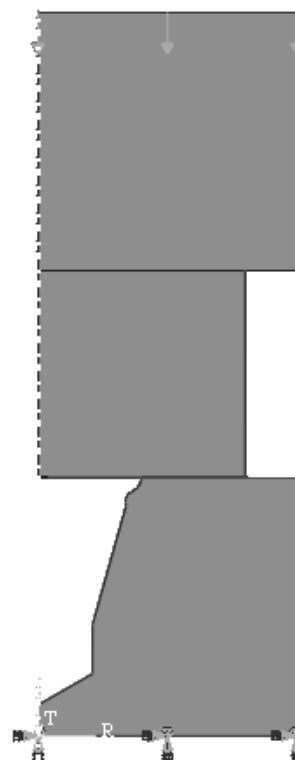


Рис. 4. Отображение граничных условий на модели

Отображенная картина распределения эквивалентной степени деформации позволяет, в частности, оценить уровень нагартовки металла по объему. Видно, что наибольшей деформации

( $\square=0,698$ ) подвержен объем металла вблизи кромок матрицы. Это должно провоцировать износ, в первую очередь, именно этой поверхности инструмента, что и наблюдается на практике. Для нижней свободной поверхности характерен процесс

бочкообразования. При этом заполнение конуса ручья штампа оказывается затрудненным: периферийные слои сильно отстают от центральных.

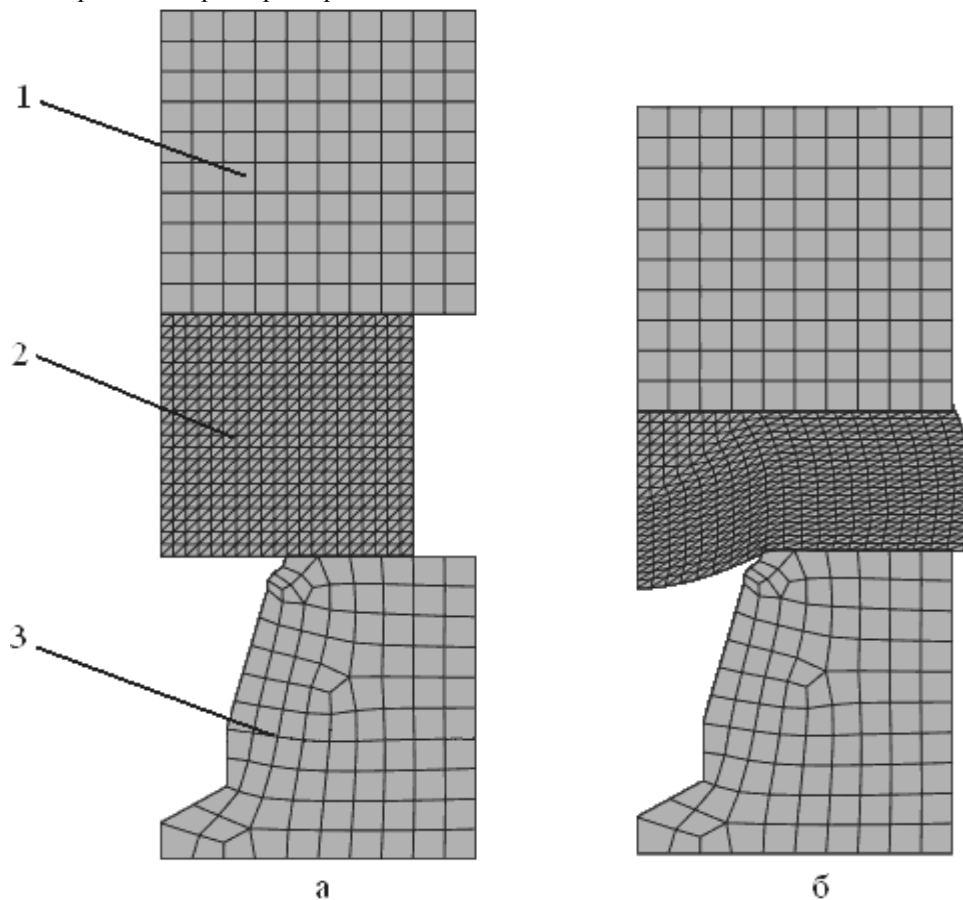


Рис. 5 Сетка конечных элементов в начальном (а) и конечном (б) состояниях: 1 – плита; 2 – заготовка; 3 – штамп

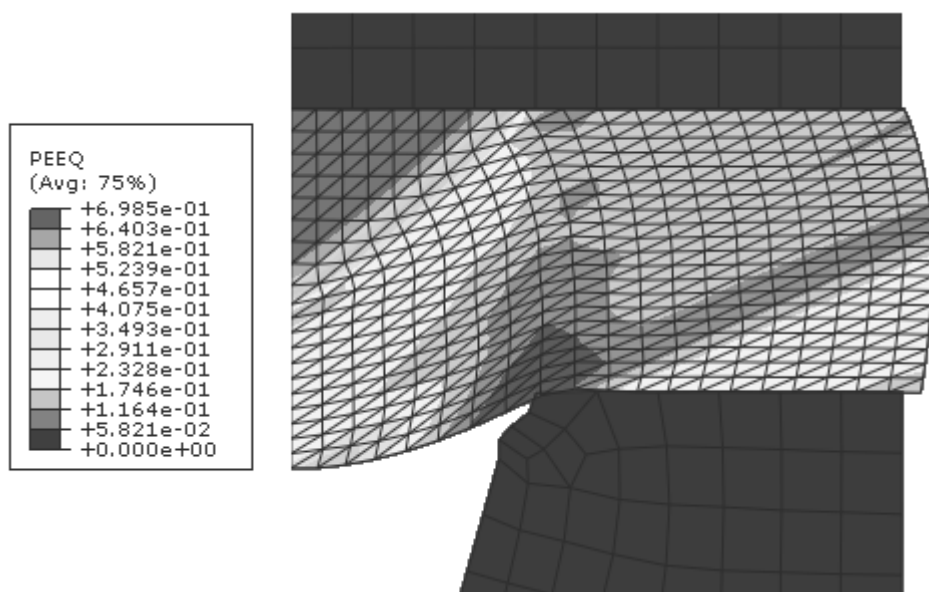


Рис. 6. Распределение значений эквивалентной степени деформации  $\square$

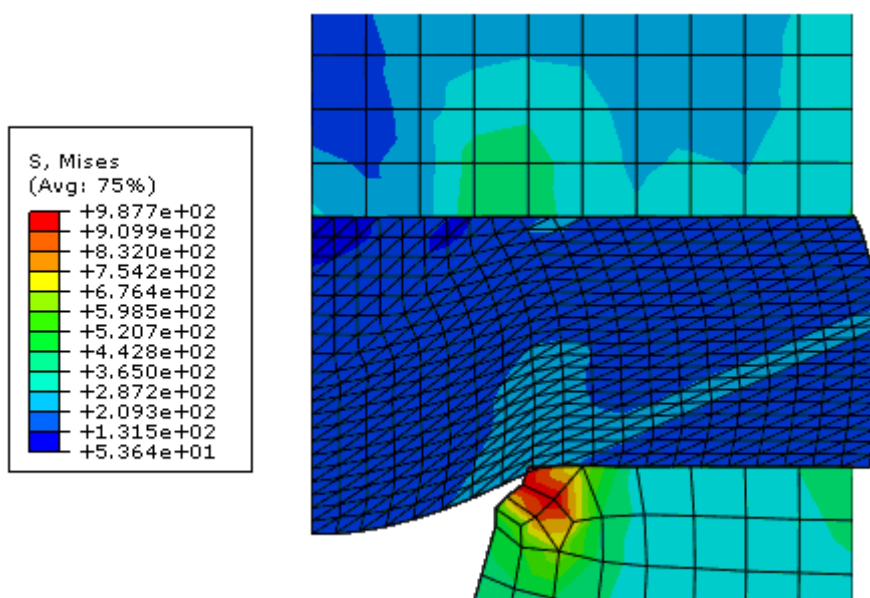


Рис. 7. Распределение значений напряжения по Мизесу

На рис. 7 представлено распределение напряжения по Мизесу. Видно, что существуют зоны повышенных напряжений как в заготовке, так и в инструменте. В плите повышенный уровень напряжений наблюдается в области над кромкой штампа. В штампе наибольшие напряжения (до 1000 МПа) наблюдаются в зоне перехода от плоской поверхности к отверстию. Это соответствует производственной практике обработки платиновых сплавов: здесь наибольший износ инструмента наблюдается именно в этой области. Таким образом, полученные данные позволяют оценить напряженное состояние металла в очаге деформации и материала инструмента.

Выявленные эффекты позволяют лучше понять механизмы деформации платиносодержащего материала и позволяют оптимизировать сам процесс, а также параметры формообразующего инструмента.

## Литература

1. Логинов Ю.Н., Котов В.В. Метод конечных элементов в описании напряженно-деформированного состояния процесса прессования: учебное пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 320 с.
2. Loginov Yu.N., Ermakov A.V., Grohovskaya L.G., Studenok G.I. Annealing characteristics and strain resistance of 99.93 wt.% Platinum. Platinum metals Rev., 2007, V.51(4). P.178-184.
3. Платина, ее сплавы и композиционные материалы/ Е.В.Васильева, Р.М.Волкова, М.И.Захарова и др. М.: Металлургия, 1980. 296 с.